



**CAPÍTULO 5.
ANÁLISIS DE CORTO CIRCUITO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN EN
MEDIA TENSIÓN EN CIUDAD UNIVERSITARIA (23kV).**

Debido a que la configuración que se propone para la red es la de anillo abierto con dos fuentes de alimentación, el estudio de corto circuito se ejemplificará en cuatro escenarios distintos, que son:

- La Subestación General No. 1 operando normalmente.
- La Subestación General No. 2 operando normalmente.
- La Subestación General No. 2 fuera de servicio y la Subestación General No. 1 alimentando todo el Anillo.
- La Subestación General No. 1 fuera de servicio y la Subestación General No. 2 alimentando todo el Anillo.

A continuación se presenta el procedimiento de cálculo necesario para el análisis del corto circuito:

5.1. Ejemplo de análisis de corto circuito del Anillo B.

Para el análisis es necesario conocer los niveles de corto circuito en las Subestaciones Generales No. 1 y 2 de Ciudad Universitaria. Los datos que en un inicio se solicitaron a la Compañía de Luz y Fuerza del Centro (extinta) fueron los niveles de corto circuito en el bus de la Subestación de Distribución “Odón de Buen”.

Los datos proporcionados son los siguientes:



Niveles de Corto Circuito en la Subestación de Distribución "Odón De Buen" [MVA]	
S_{CC3φ}	356.41
S_{CC1φ}	347.65

Tabla No. 5.1. Niveles de Corto Circuito en la Subestación de Distribución "Odón de Buen". LyFC.

Es preciso aclarar que se decidió utilizar los valores en la Subestación de Distribución, debido que los datos proporcionados en su momento por Compañía de Luz y Fuerza del Centro (extinta) y la Comisión Federal de Electricidad en las Subestaciones Generales No. 1 y 2 varían demasiado unos respecto de otros por lo que se tiene incertidumbre en los datos proporcionados.

CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO [A]				
SUBESTACIÓN GENERAL	LyFC		CFE	
	Trifásico	Monofásico	Trifásico	Monofásico
Subestación General No. 1	4911	3166	3908.4	2621.9
Subestación General No. 2	6303	4617	6755.3	6263.1

Tabla No. 5.2. Corrientes de corto circuito en las Subestaciones Generales No. 1 y 2.

El análisis llevado a cabo para obtener los niveles de corto circuito en las Subestaciones Generales No. 1 y 2 se describe en el Apéndice C, los resultados se muestran en la siguiente tabla:



Potencia de C.C. [MVA]	Subestación General 1	Subestación General 2
$S_{3\phi}$	147.4700	175.9128
$S_{2\phi}$	127.7220	152.3450
$S_{1\phi}$	96.2099	118.2611

Tabla No. 5.3. Potencias de corto circuito en las Subestaciones Generales No. 1 y 2.

Con los datos de la Tabla No. 5.3 se calcularon las reactancias de secuencia positiva, negativa y cero de las Subestaciones Generales No. 1 y 2:

Como parámetros se seleccionó una potencia base de 100[MVA] y una tensión base de 23[kV] y 220[V], a partir de estos datos, se obtuvieron la impedancia y corriente base. En seguida se muestran las ecuaciones y datos obtenidos:

$$S_{\text{Base}} = 100 \text{ [MVA]}$$

$$V_{\text{Base}} = 23 \text{ [kV]}$$

$$Z_{\text{Base}} = \frac{kV_{\text{Base}}^2}{MVA_{\text{Base}}} \text{ [\Omega]} \quad (\text{Ec. 5.1})$$

$$Z_{\text{Base}} = \frac{23^2}{100} = 5.29 \text{ [\Omega]}$$

$$I_{\text{Base}} = \frac{S_{\text{Base}}}{\sqrt{3}V_{\text{Base}}} \text{ [A]} \quad (\text{Ec. 5.2})$$

Para la tensión base de 23 [kV], se tiene:

$$I_{\text{Base}} = \frac{100000}{\sqrt{3}(23)} = 2510.22 \text{ [A]}$$



Y para la tensión base de 220 [V]:

$$I_{\text{Base}} = \frac{100000}{\sqrt{3}(.22)} = 262431.94 \text{ [A]}$$

Por lo que, las impedancias de secuencia para la Subestación General No. 1, son las siguientes:

Si la impedancia de secuencia positiva y negativa es:

$$X_{1,2} = \frac{E_{a1}^2}{S_{CC3\phi}} S_{\text{Base}} \text{ [pu]} \quad (\text{Ec. 5.3})$$

Entonces:

$$X_{1,2} = \frac{1^2}{147.47} (100)$$

$$X_{1,2} = j0.6781 \text{ [pu]}$$

Y si la impedancia de secuencia cero es:

$$X_0 = \frac{3S_{\text{Base}}}{S_{CC1\phi}} E_{a1} - 2X_{1,2} \text{ [pu]} \quad (\text{Ec. 5.4})$$

Entonces:

$$X_0 = \frac{3(100)}{96.2099} 1 - 2(0.6781)$$

$$X_0 = j1.7619 \text{ [pu]}$$

Y las impedancias de secuencia positiva y negativa, para la Subestación General No. 2 son las siguientes:



$$X_{1,2} = \frac{1^2}{175.9128} (100)$$

$$X_{1,2} = j0.5684 \text{ [pu]}$$

Y la impedancia de secuencia cero es:

$$X_0 = \frac{3(100)}{118.2611} 1 - 2(0.5684)$$

$$X_0 = j1.3998 \text{ [pu]}$$

En la tabla siguiente se resumen los valores obtenidos:

Z [pu]	SG1	SG2
+	j0.6781	j0.5684
0	j1.7619	j1.3998

Tabla No. 5.4. Impedancias de secuencia de las Subestaciones Generales No. 1 y 2.

5.1.1. Cálculo de las impedancias de secuencia en p.u. del cable y de los transformadores del Anillo B.

Enseguida se ejemplifica el proceso matemático para cambiar al sistema en por unidad de las impedancias de secuencia de uno los tramos (SG1-L1) del cable y del transformador de la Biblioteca Central perteneciente al Anillo B (Ver Figura No. 5.1)

Para el tramo SG1-L1 el cual tiene una longitud de 0.211 [km] y consta de cuatro circuitos en un banco de ductos, se tiene:



De la sección 4.4 del capítulo 4, se tiene que:

$$Z_{1,2} = 0.2132 + j0.0244 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right] \text{ y } Z_0 = 0.7962 + j0.0177 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

Multiplicando las impedancias por la longitud del tramo, se obtiene que:

$$Z_{1,2} = 0.211(0.2132 + j0.0244)$$

$$Z_{1,2} = 0.0450 + j0.0051 [\Omega]$$

$$Z_0 = 0.211(0.7962 + j0.0177)$$

$$Z_0 = 0.1680 + j0.0037 [\Omega]$$

Dividiendo el valor de las impedancias en Ohms entre la impedancia base obtenida por la Ec. 5.1, se tiene:

$$Z_{1,2} = \frac{0.0450 + j0.0051}{5.29}$$

$$Z_{1,2} = 0.0085 + j0.0010 [\text{pu}]$$

$$Z_0 = \frac{0.1680 + j0.0037}{5.29}$$

$$Z_0 = 0.0318 + j0.0007 [\text{pu}]$$

Para el transformador de la Biblioteca Central su valor en p.u. referido a las nuevas bases es:

$$Z_N = Z_V \frac{\text{MVA}_{\text{BASE}}}{\text{MVA}_{\text{TRANS}}} \left(\frac{\text{kVA}_{\text{TRANS}}}{\text{kVA}_{\text{BASE}}} \right)^2 [\text{pu}] \quad (\text{Ec. 5.5})$$

$$Z_N = 0.051 \left(\frac{100}{0.5} \right) \left(\frac{23}{23} \right)^2$$

$$Z_N = 10.2 [\text{pu}]$$



CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE C.C. DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN EN CU (23 kV)

En la Tabla No. 5.5 se resumen los valores de las impedancias en por unidad de todos los tramos de cable y de los transformadores restantes que comprenden el Anillo B.

Tramo o Transf.	No. Circuitos	d [km]	$Z_{1,2}$ [pu]	Z_0 [pu]
SG1-L1	4	0.211	0.0085+j0.0010	0.0318+j0.0007
SG1-L2	2	0.016	0.0003+j0.0002	0.0014+j0.0004
SG1-TR1	-	-	j10.2000	j10.2000
SG1-L3	2	0.016	0.0003+j0.0002	0.0104+j0.0004
SG1-L4	2	0.637	0.0255+j0.0143	0.1123+j0.0341
SG1-L5	2	0.007	0.0001+j0.0001	0.0006+j0.0002
SG1-TR2	-	-	j20.1333	j20.1333
SG1-L6	2	0.007	0.0001+j0.0001	0.0006+j0.0002
SG1-L7	2	0.190	0.0076+j0.0043	0.0335+j0.0102
SG1-L8	2	0.022	0.0004+j0.0002	0.0019+j0.0006
SG2-TR4	-	-	j13.4222	j13.4222
SG2-L9	2	0.022	0.0004+j0.0002	0.0019+j0.0006
SG2-L8	2	0.170	0.0068+j0.0038	0.0300+j0.0091
SG2-L7	2	0.016	0.0003+j0.0002	0.0014+j0.0004
SG2-TR3	-	-	j17.0000	j17.0000
SG2-L6	2	0.016	0.0003+j0.0002	0.0014+j0.0004
SG2-L5	2	0.316	0.0127+j0.0071	0.0557+j0.0169
SG2-L4	2	0.033	0.0007+j0.0004	0.0029+j0.0009
SG2-TR2	-	-	j20.1333	j20.1333
SG2-L3	2	0.033	0.0007+j0.0004	0.0029+j0.0009
SG2-L2	2	0.180	0.0072+j0.0040	0.0317+j0.0096
SG2-TR1	-	-	j13.4222	j13.4222
SG2-L1	3	0.076	0.0031+j0.0008	0.0122+j0.0017

Tabla No. 5.5. Impedancias de secuencia positiva, negativa y cero en por unidad de los tramos de cable y de los transformadores del Anillo B.



Como siguiente paso se tomó como ejemplo uno de los escenarios de los cuatros posibles para representar la matriz de impedancias de secuencia positiva y negativa.

5.1.2. Escenario 1: Subestación General 1 operando normalmente.

5.1.2.1. Cálculo de la matriz de impedancias de secuencia positiva y negativa.

El primer paso, para obtener la matriz de admitancias positiva y negativa es construir el diagrama de secuencia. (Ver Figura No. 5.2)

Enseguida, con ayuda del diagrama de secuencia, se calculan las impedancias equivalentes de cada uno de los puntos, como se muestra a continuación:

$$Z_{EQ1} = Z_{CS} + Z_{SG1-L1} + Z_{SG1-L2} \text{ [pu]}$$

$$Z_{EQ1} = j0.0678 + 0.0085 + j0.0010 + 0.0003 + j0.0002$$

$$Z_{EQ1} = 0.0088 + j0.6723 \text{ [pu]}$$

$$Z_{EQ2} = Z_{SG1-L3} + Z_{SG1-L4} + Z_{SG1-L5} \text{ [pu]}$$

$$Z_{EQ2} = 0.0003 + j0.0002 + 0.0255 + j0.0143 + 0.0001 + j0.0001$$

$$Z_{EQ2} = 0.0260 + j0.0145 \text{ [pu]}$$

$$Z_{EQ3} = Z_{SG1-L6} + Z_{SG1-L7} + Z_{SG1-L8} \text{ [pu]}$$

$$Z_{EQ3} = 0.0001 + j0.0001 + 0.0076 + j0.0043 + 0.0004 + j0.0002$$

$$Z_{EQ3} = 0.0082 + j0.0046 \text{ [pu]}$$

El diagrama de secuencia de impedancia equivalente se muestra en la Figura No. 5.2.

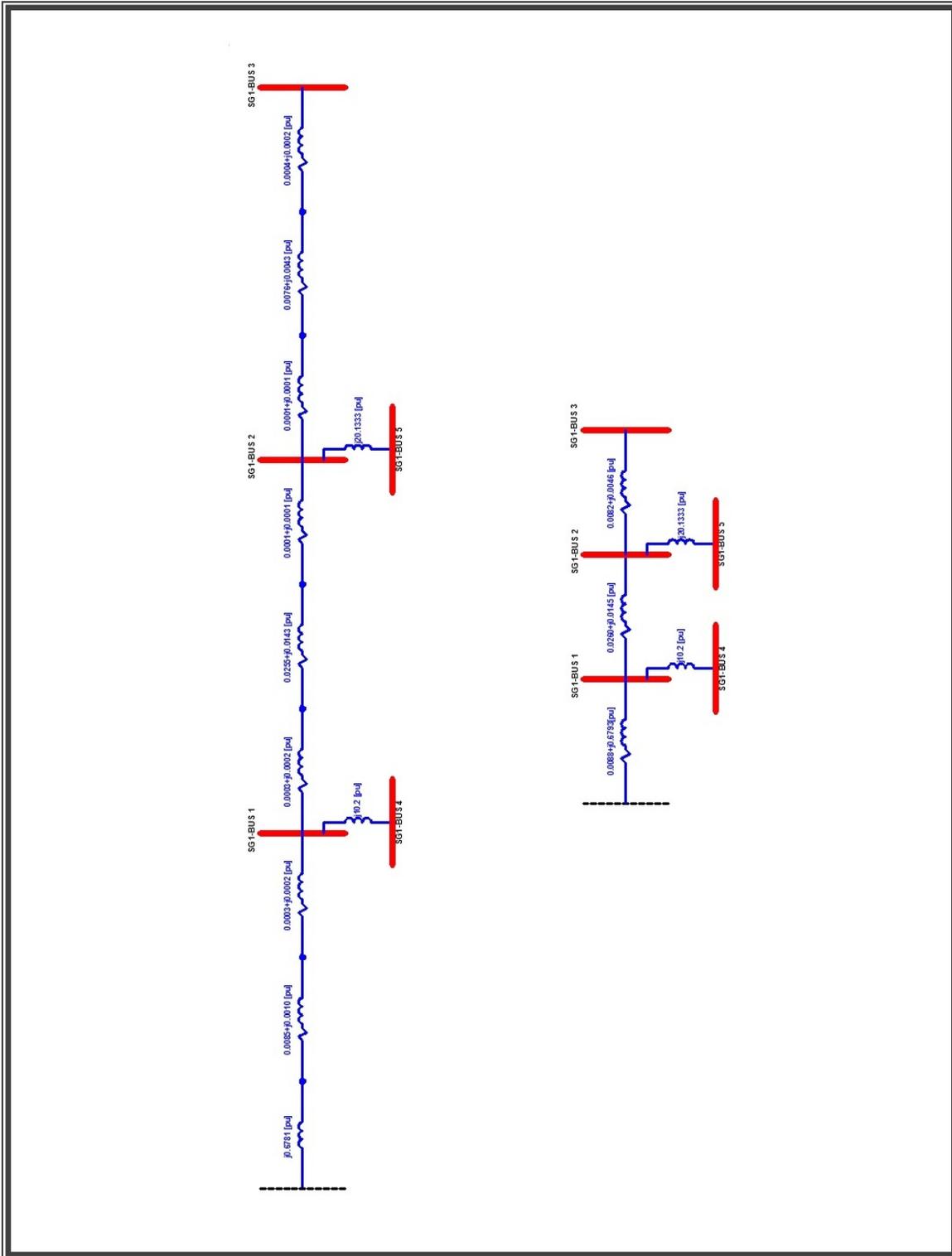


Figura No. 5.2. Diagrama de impedancias de secuencia positiva y negativa.



Cambiando los valores de impedancias a admitancias:

$$Y_{EQ1} = \frac{1}{0.0088 + j0.6723}$$

$$Y_{EQ1} = 0.0191 - j1.4720 \text{ [pu]}$$

$$Y_{EQ2} = \frac{1}{0.0260 + j0.0145}$$

$$Y_{EQ2} = 29.3368 - j16.3921 \text{ [pu]}$$

$$Y_{EQ3} = \frac{1}{0.0082 + j0.0046}$$

$$Y_{EQ3} = 93.0314 - j51.9817 \text{ [pu]}$$

Por último se construye el diagrama de admitancias con los resultados obtenidos anteriormente. (Ver Figura No. 5.3)

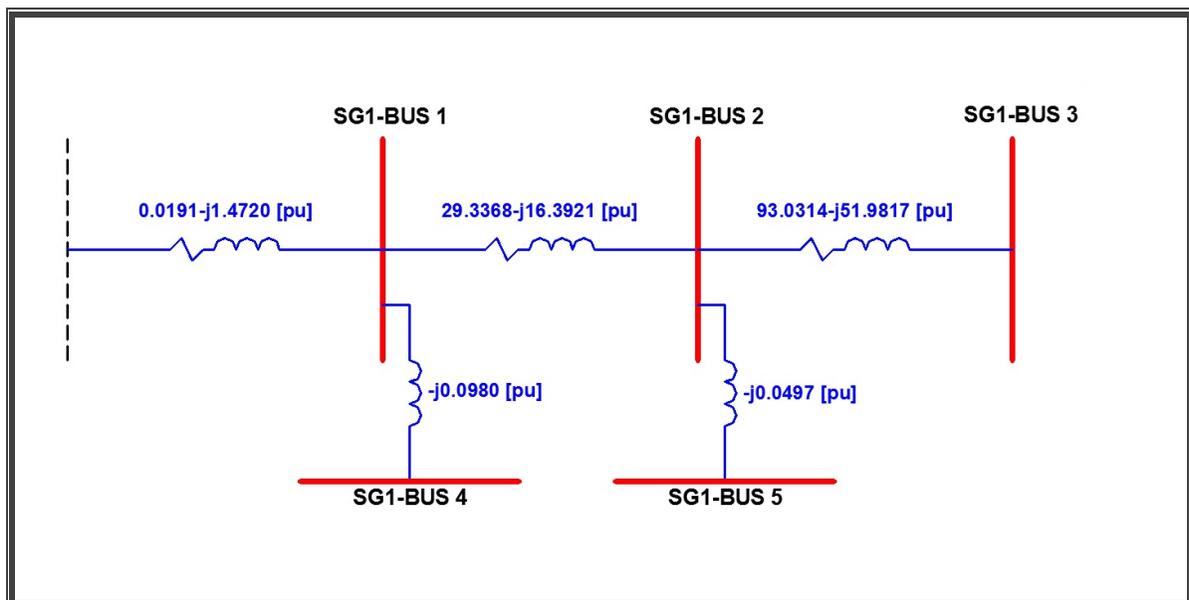


Figura No. 5.3. Diagrama de admitancias de secuencia positiva y negativa.



A partir del diagrama de admitancias se calcularon los elementos que conformaran la matriz de admitancias:

$$Y_{11} = Y_{EQ1} + Y_{EQ2} + Y_{SG1-TR1} \text{ [pu]}$$

$$Y_{11} = (0.0191 - j1.4720) + (29.3368 - j16.3921) + (-j0.0980)$$

$$Y_{11} = 29.3559 - j17.9621 \text{ [pu]}$$

$$Y_{12} = Y_{21} = -Y_{EQ2} \text{ [pu]}$$

$$Y_{12} = Y_{21} = -29.3368 + j16.3921 \text{ [pu]}$$

$$Y_{13} = Y_{31} = Y_{15} = Y_{51} = 0 \text{ [pu]}$$

$$Y_{14} = Y_{41} = j0.0980 \text{ [pu]}$$

$$Y_{22} = Y_{EQ2} + Y_{EQ3} + Y_{SG1-TR2} \text{ [pu]}$$

$$Y_{22} = (29.3368 - j16.3921) + (93.0314 - j51.9817) + (-j0.0497)$$

$$Y_{22} = 122.3681 - j68.4234 \text{ [pu]}$$

$$Y_{23} = Y_{32} = -Y_{EQ3} \text{ [pu]}$$

$$Y_{23} = Y_{32} = -93.0314 + j51.9817 \text{ [pu]}$$

$$Y_{24} = Y_{42} = 0 \text{ [pu]}$$

$$Y_{25} = Y_{52} = -Y_{SG1-TR2} \text{ [pu]}$$

$$Y_{25} = Y_{52} = j0.0497 \text{ [pu]}$$

$$Y_{33} = Y_{EQ3} \text{ [pu]}$$

$$Y_{33} = 93.0314 - j52.0562 \text{ [pu]}$$

$$Y_{34} = Y_{43} = Y_{35} = Y_{53} = 0 \text{ [pu]}$$

$$Y_{44} = Y_{SG1-TR1} \text{ [pu]}$$

$$Y_{44} = -j0.0980 \text{ [pu]}$$

$$Y_{45} = Y_{54} = 0 \text{ [pu]}$$

$$Y_{55} = Y_{SG1-TR2} \text{ [pu]}$$



$$Y_{55} = -j0.0497 \text{ [pu]}$$

Por lo que, la matriz de admitancias de secuencia positiva y negativa es:

$$Y_{1,2} = \begin{bmatrix} 29.3559 - j17.9621 & -29.3368 + j16.3921 & 0 & j0.0980 & 0 \\ -29.3368 + j16.3921 & 122.3681 - j68.4234 & -93.0314 + j51.9817 & 0 & j0.0497 \\ 0 & -93.0314 + j51.9817 & 93.0314 - j51.9817 & 0 & 0 \\ j0.0980 & 0 & 0 & -j0.0980 & 0 \\ 0 & j0.0497 & 0 & 0 & -j0.0497 \end{bmatrix}$$

Para obtener la matriz de impedancias de secuencia positiva y negativa, se calculó la matriz inversa de la matriz de admitancias, es decir:

$$Z_{1,2} = Y_{1,2}^{-1} \quad (\text{Ec. 5.6})$$

Por lo tanto:

$$Z_{1,2} = \begin{bmatrix} 0.0088 + j0.6793 & 0.0088 + j0.6793 & 0.0088 + j0.6793 & 0.0088 + j0.6793 & 0.0088 + j0.6793 \\ 0.0088 + j0.6793 & 0.0347 + j0.6938 & 0.0347 + j0.6938 & 0.0088 + j0.6793 & 0.0347 + j0.6938 \\ 0.0088 + j0.6793 & 0.0347 + j0.6938 & 0.0429 + j0.6984 & 0.0088 + j0.6793 & 0.0347 + j0.6938 \\ 0.0088 + j0.6793 & 0.0088 + j0.6793 & 0.0088 + j0.6793 & 0.0088 + j10.8834 & 0.0088 + j0.6793 \\ 0.0088 + j0.6793 & 0.0347 + j0.6938 & 0.0347 + j0.6938 & 0.0088 + j0.6793 & 0.0347 + j20.8145 \end{bmatrix}$$

5.1.2.2. Cálculo de la matriz de impedancias de secuencia cero.

Para obtener la matriz de impedancias de secuencia cero se construyó el diagrama de secuencia cero. (Ver Figura No. 5.4)

Enseguida se redujo el diagrama de impedancias y se construyó el diagrama de admitancias. (Ver Figura No. 5.5)

$$Z_{EQ1} = Z_{CS} + Z_{SG1-L1} + Z_{SG1-L2} \text{ [pu]}$$

$$Z_{EQ1} = j1.7619 + 0.0318 + j0.0007 + 0.0014 + j0.0004$$



$$Z_{EQ1} = 0.0332 + j1.7630 \text{ [pu]}$$

$$Z_{EQ2} = Z_{SG1-L3} + Z_{SG1-L4} + Z_{SG1-L5} \text{ [pu]}$$

$$Z_{EQ2} = 0.0104 + j0.0004 + 0.1123 + j0.0341 + 0.0006 + j0.0002$$

$$Z_{EQ2} = 0.1234 + j0.0347 \text{ [pu]}$$

$$Z_{EQ3} = Z_{SG1-L6} + Z_{SG1-L7} + Z_{SG1-L8} \text{ [pu]}$$

$$Z_{EQ3} = 0.0006 + j0.0002 + 0.0335 + j0.0102 + 0.0019 + j0.0006$$

$$Z_{EQ3} = 0.0361 + j0.0109 \text{ [pu]}$$

Se cambiaron los valores de impedancias a admitancias:

$$Y_{EQ1} = \frac{1}{0.0332 + j1.7630}$$

$$Y_{EQ1} = 0.0107 - j0.5670 \text{ [pu]}$$

$$Y_{EQ2} = \frac{1}{0.1234 + j0.0347}$$

$$Y_{EQ2} = 7.5115 - j2.1131 \text{ [pu]}$$

$$Y_{EQ3} = \frac{1}{0.0361 + j0.0109}$$

$$Y_{EQ3} = 25.3949 - j7.7080 \text{ [pu]}$$

Con los datos obtenidos anteriormente se construyó el diagrama de admitancias (Ver Figura No. 5.5)



CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE C.C. DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN EN CU (23 KV)

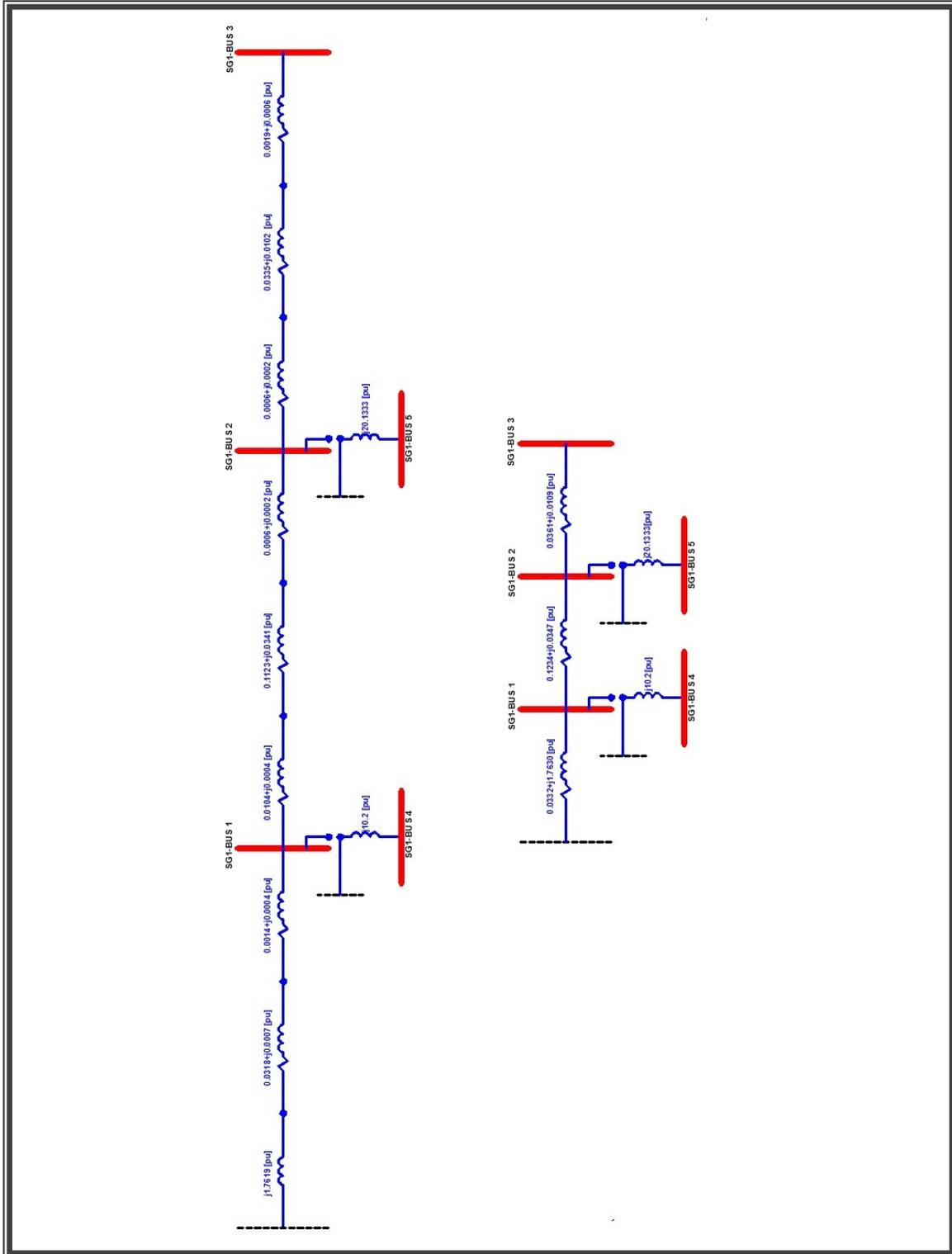


Figura No. 5.4. Diagrama de impedancias de secuencia cero.

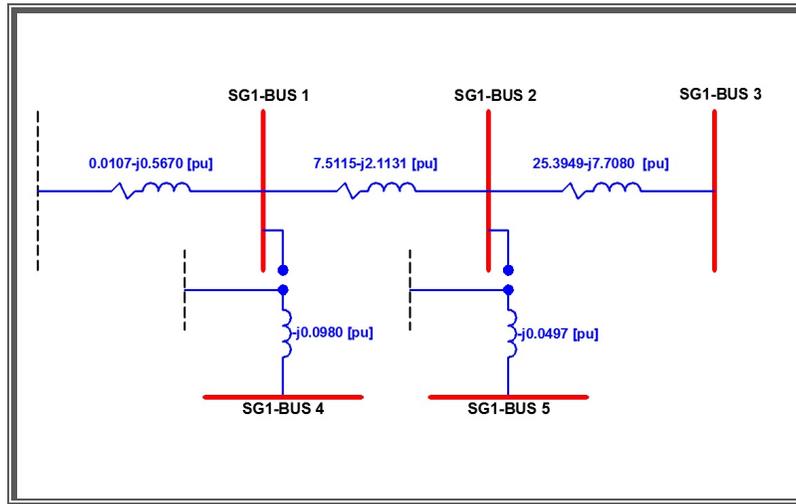


Figura No. 5.5. Diagrama de admittancias de secuencia cero.

Con el diagrama de admittancias se calcularon los elementos que conforman la matriz de admittancias:

$$Y_{11} = Y_{EQ1} + Y_{EQ2} \text{ [pu]}$$

$$Y_{11} = (0.0707 - j0.5670) + (7.5115 - j2.1131)$$

$$Y_{11} = 7.5221 - j2.6801 \text{ [pu]}$$

$$Y_{12} = Y_{21} = -Y_{EQ2} \text{ [pu]}$$

$$Y_{12} = Y_{21} = -7.5115 + j2.1131 \text{ [pu]}$$

$$Y_{13} = Y_{31} = Y_{14} = Y_{41} = Y_{15} = Y_{51} = 0 \text{ [pu]}$$

$$Y_{22} = Y_{EQ2} + Y_{EQ3} \text{ [pu]}$$

$$Y_{22} = (7.5115 - j2.1131) + (25.3949 - j7.7080)$$

$$Y_{22} = 32.9064 - j9.8211 \text{ [pu]}$$

$$Y_{23} = Y_{32} = -Y_{EQ3} \text{ [pu]}$$

$$Y_{23} = Y_{32} = -25.3949 + j7.7080 \text{ [pu]}$$

$$Y_{24} = Y_{42} = Y_{25} = Y_{52} = 0 \text{ [pu]}$$

$$Y_{33} = Y_{EQ3} \text{ [pu]}$$



$$Y_{33} = 25.3949 - j7.7080 \text{ [pu]}$$

$$Y_{34} = Y_{43} = Y_{35} = Y_{53} = 0 \text{ [pu]}$$

$$Y_{44} = Y_{SG1-TR1} \text{ [pu]}$$

$$Y_{44} = -j0.0980 \text{ [pu]}$$

$$Y_{55} = Y_{SG1-TR2} \text{ [pu]}$$

$$Y_{55} = -j0.0497 \text{ [pu]}$$

$$Y_{45} = Y_{54} = 0 \text{ [pu]}$$

Por lo que, la matriz de admitancias de secuencia cero es:

$$Y_0 = \begin{bmatrix} 7.5221 - j2.6801 & -7.5115 + j2.1131 & 0 & 0 & 0 \\ -7.5115 + j2.1131 & 32.9064 - j9.8211 & -25.3949 + j7.7080 & 0 & 0 \\ 0 & -25.3949 + j7.7080 & 25.3949 - j7.7080 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -j0.0980 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -j0.0497 \end{bmatrix}$$

Para obtener la matriz de impedancias de secuencia cero, se calculó la matriz inversa de la matriz de admitancias, es decir:

$$Z_0 = Y_0^{-1} \quad (\text{Ec. 5.7})$$

Por lo tanto:

$$Y_0 = \begin{bmatrix} 0.0330 + j1.7631 & 0.0330 + j1.7631 & 0.0330 + j1.7631 & 0 & 0 \\ 0.0330 + j1.7631 & 0.1563 + j1.7978 & 0.1563 + j1.7978 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1563 + j1.7978 & 0.1924 - j1.8087 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & j10.2041 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & j20.1207 \end{bmatrix}$$



Los elementos de la diagonal principal representan la impedancia equivalente de Thevenin en cada uno de los buses. (Ver Tabla No. 5.6)

Bus	Impedancia equivalente de Thevenin	
	$Z_{1,2}$ [pu]	Z_0 [pu]
SG1-BUS 1	0.0088+j0.6797	0.0330+j1.7631
SG1-BUS 2	0.0348+j0.6942	0.1563+j1.7978
SG1-BUS 3	0.0430+j0.6988	0.1924+j1.8087
SG1-BUS 4	0.0088+j10.8838	j10.2041
SG1-BUS 5	0.0348+j20.8150	j20.1207
SG1-BUS 6	0.0430+j13.9614	j13.4228

Tabla No. 5.6. Impedancias de secuencia equivalentes de Thevenin para el Escenario 1.

5.1.2.3. Cálculo de las corrientes de corto circuito.

Con las impedancias que se obtuvieron se calcularon las corrientes de corto circuito en cada uno de los buses.

Para el Bus SG1-BUS 1:

Falla Monofásica.

$$I_a = \frac{3E_{a_1}}{Z_1 + Z_2 + Z_0} [\text{pu}] \quad (\text{Ec. 5.8})$$



$$I_a = \frac{3}{2(0.0088 + j0.6793) + 0.0330 + j1.7631}$$

$$I_a = 0.0156 - j0.9608 \text{ [pu]}$$

Si se obtiene la magnitud de I_a y se multiplica por la corriente base (I_{Base}) calculada por la Ec. 5.2 para una tensión de 23 [kV], se tiene:

$$I_a = \sqrt{0.0156^2 + (-0.9608)^2}$$

$$I_a = 0.9609 \text{ [pu]}$$

$$I_a = 0.9609(2510.22)$$

$$I_{1\phi} = 2412.04 \text{ [A]}$$

Falla Trifásica.

$$I_a = \frac{E_{a1}}{Z_1} \text{ [pu]} \quad (\text{Ec. 5.9})$$

$$I_a = \frac{1}{0.0088 + j0.6793}$$

$$I_a = 0.0191 - j1.4719 \text{ [pu]}$$

Si se obtiene la magnitud de I_a y se multiplica por la corriente base (I_{Base}) calculada por la Ec. 5.2 para una tensión de 23 [kV], se tiene:

$$I_a = \sqrt{0.0191^2 + (-1.4719)^2}$$

$$I_a = 1.4720 \text{ [pu]}$$

$$I_a = 1.4720(2510.22)$$

$$I_{3\phi} = 3694.99 \text{ [A]}$$



Falla Bifásica.

$$I_b = -j \frac{\sqrt{3}E_{a_1}}{Z_1 + Z_2} \text{ [pu]} \quad (\text{Ec. 5.10})$$

$$I_b = -j \frac{\sqrt{3}}{2(0.0088 + j0.6793)}$$

$$I_b = -1.2746 - j0.0165 \text{ [pu]}$$

Si se obtiene la magnitud de I_b y se multiplica por la corriente base (I_{Base}) calculada por la Ec. 5.2 para una tensión de 23 [kV], se tiene:

$$I_b = \sqrt{(-1.2746)^2 + (-0.0165)^2}$$

$$I_b = 1.2747 \text{ [pu]}$$

$$I_b = 1.2747(2510.22)$$

$$I_{2\phi} = 3199.96 \text{ [A]}$$

Falla Bifásica a Tierra.

$$I_b = j\sqrt{3}E_{a_1} \frac{aZ_2 - Z_0}{Z_1(Z_1 + 2Z_0)} \text{ [pu]} \quad (\text{Ec. 5.11})$$

$$I_b = j\sqrt{3} \frac{(-0.5 + j0.866)(0.0088 + j0.6793) - (0.0330 + j1.7631)}{(0.0088 + j0.6793)((0.0088 + j0.6793) + 2(0.0330 + j1.7631))}$$

$$I_b = -1.2810 + j0.3400 \text{ [pu]}$$

Si se obtiene la magnitud de I_b y se multiplica por la corriente base (I_{Base}) calculada por la Ec. 5.2 para una tensión de 23 [kV], se tiene:

$$I_b = \sqrt{(-1.2810)^2 + (0.3400)^2}$$

$$I_b = 1.3254 \text{ [pu]}$$

$$I_b = 1.3254(2510.22)$$



$$I_{2\phi-T} = 3326.97[A]$$

Para el Bus SG1-BUS 2:

Falla Monofásica.

Sustituyendo en la Ec. 5.8, se tiene:

$$I_a = \frac{3}{2(0.0347 + j0.6938) + (0.1563 + j1.7978)}$$

$$I_a = 0.0664 - j0.9371 [pu]$$

Si se obtiene la magnitud de I_a y se multiplica por la corriente base (I_{Base}) calculada por la Ec. 5.2 para una tensión de 23 [kV], se tiene:

$$I_a = \sqrt{0.0664^2 + (-0.9371)^2}$$

$$I_a = 0.9394 [pu]$$

$$I_a = 0.9394(2510.22)$$

$$I_{1\phi} = 2358.21[A]$$

Falla Trifásica.

Sustituyendo en la Ec. 5.9, se tiene:

$$I_a = \frac{1}{0.0347 + j0.6938}$$

$$I_a = 0.0719 - j1.4377 [pu]$$

Si se obtiene la magnitud de I_a y se multiplica por la corriente base (I_{Base}) calculada por la Ec. 5.2 para una tensión de 23 [kV], se tiene:

$$I_a = \sqrt{0.0719^2 + (-1.4377)^2}$$



$$I_a = 1.4395 \text{ [pu]}$$

$$I_a = 1.4395(2510.22)$$

$$I_{3\phi} = 3613.56 \text{ [A]}$$

Falla Bifásica.

Sustituyendo en la Ec. 5.10, se tiene:

$$I_b = -j \frac{\sqrt{3}}{2(0.0347 + j0.6938)}$$

$$I_b = -1.2451 - j0.0622 \text{ [pu]}$$

Si se obtiene la magnitud de I_b y se multiplica por la corriente base (I_{Base}) calculada por la Ec. 5.2 para una tensión de 23 [kV], se tiene:

$$I_b = \sqrt{(-1.2451)^2 + (-0.0622)^2}$$

$$I_b = 1.2466 \text{ [pu]}$$

$$I_b = 1.2466(2510.22)$$

$$I_{2\phi} = 3129.43 \text{ [A]}$$

Falla Bifásica a Tierra.

Sustituyendo en la Ec. 5.11, se tiene:

$$I_b = j\sqrt{3} \frac{(-0.5 + j0.866)(0.0347 + j0.6938) - (0.1563 + j1.7978)}{(0.0347 + j0.6938)((0.0347 + j0.6938) + 2(0.1563 + j1.7978))}$$

$$I_b = -1.2732 + j0.2851 \text{ [pu]}$$

Si se obtiene la magnitud de I_b y se multiplica por la corriente base (I_{Base}) calculada por la Ec. 5.2 para una tensión de 23 [kV], se tiene:

$$I_b = \sqrt{(-1.2732)^2 + (0.2851)^2}$$



$$I_b = 1.3048 \text{ [pu]}$$

$$I_b = 1.3048(2510.22)$$

$$I_{2\phi-T} = 3275.30 \text{ [A]}$$

Para el Bus SG1-BUS 3:

Falla Monofásica.

Sustituyendo en la Ec. 5.8, se tiene:

$$I_a = \frac{3}{2(0.0429 + j0.6984) + 0.1924 + j1.8087}$$

$$I_a = 0.0806 - j0.9289 \text{ [pu]}$$

Si se obtiene la magnitud de I_a y se multiplica por la corriente base (I_{Base}) calculada por la Ec. 5.2 para una tensión de 23 [kV], se tiene:

$$I_a = \sqrt{0.0806^2 + (-0.9289)^2}$$

$$I_a = 0.9324 \text{ [pu]}$$

$$I_a = 0.9324(2510.22)$$

$$I_{1\phi} = 2340.50 \text{ [A]}$$

Falla Trifásica.

Sustituyendo en la Ec. 5.9, se tiene:

$$I_a = \frac{1}{0.0429 + j0.6984}$$

$$I_a = 0.0876 - j1.4265 \text{ [pu]}$$



Si se obtiene la magnitud de I_a y se multiplica por la corriente base (I_{Base}) calculada por la Ec. 5.2 para una tensión de 23 [kV], se tiene:

$$I_a = \sqrt{0.0876^2 + (-1.4265)^2}$$

$$I_a = 1.4292 \text{ [pu]}$$

$$I_a = 1.4292(2510.22)$$

$$I_{3\phi} = 3587.48 \text{ [A]}$$

Falla Bifásica.

Sustituyendo en la Ec. 5.10, se tiene:

$$I_b = -j \frac{\sqrt{3}}{2(0.0429 + j0.6984)}$$

$$I_b = -1.2353 - j0.0758 \text{ [pu]}$$

Si se obtiene la magnitud de I_b y se multiplica por la corriente base (I_{Base}) calculada por la Ec. 5.2 para una tensión de 23 [kV], se tiene:

$$I_b = \sqrt{(-1.2353)^2 + (-0.0758)^2}$$

$$I_b = 1.2376 \text{ [pu]}$$

$$I_b = 1.2376(2510.22)$$

$$I_{2\phi} = 3106.85 \text{ [A]}$$

Falla Bifásica a Tierra.

Sustituyendo en la Ec. 5.11, se tiene:

$$I_b = j\sqrt{3} \frac{(-0.5 + j0.866)(0.0429 + j0.6984) - (0.1924 + j1.8087)}{(0.0429 + j0.6984)((0.0429 + j0.6984) + 2(0.1924 + j1.8087))}$$

$$I_b = -1.2695 + j0.2683 \text{ [pu]}$$



Si se obtiene la magnitud de I_b y se multiplica por la corriente base (I_{Base}) calculada por la Ec. 5.2 para una tensión de 23 [kV], se tiene:

$$I_b = \sqrt{(-1.2695)^2 + (0.2683)^2}$$

$$I_b = 1.2975 \text{ [pu]}$$

$$I_b = 1.2975(2510.22)$$

$$I_{2\phi-T} = 3257.01 \text{ [A]}$$

Para el Bus SG1-BUS 4:

Falla Monofásica.

Sustituyendo en la Ec. 5.8, se tiene:

$$I_a = \frac{3}{2(0.0088 + j10.8834) + j10.2041}$$

$$I_a = 0.0001 - j0.0938 \text{ [pu]}$$

Si se obtiene la magnitud de I_a y se multiplica por la corriente base (I_{Base}) calculada por la Ec. 5.2 para una tensión de 220 [V], se tiene:

$$I_a = \sqrt{0.0001^2 + (-0.0938)^2}$$

$$I_a = 0.0938 \text{ [pu]}$$

$$I_a = 0.0938(262431.94)$$

$$I_{1\phi} = 24625.38 \text{ [A]}$$

Falla Trifásica.

Sustituyendo en la Ec. 5.9, se tiene:

$$I_a = \frac{1}{0.0088 + j10.8834}$$



$$I_a = 0.0001 - j0.0919 \text{ [pu]}$$

Si se obtiene la magnitud de I_a y se multiplica por la corriente base (I_{Base}) calculada por la Ec. 5.2 para una tensión de 220 [V], se tiene:

$$I_a = \sqrt{0.0001^2 + (-0.0919)^2}$$

$$I_a = 0.0919 \text{ [pu]}$$

$$I_a = 0.0919(262431.94)$$

$$I_{3\phi} = 24113.04 \text{ [A]}$$

Falla Bifásica.

Sustituyendo en la Ec. 5.10, se tiene:

$$I_b = -j \frac{\sqrt{3}}{2(0.0088 + j10.8834)}$$

$$I_b = -0.0795 - j0.00006 \text{ [pu]}$$

Si se obtiene la magnitud de I_b y se multiplica por la corriente base (I_{Base}) calculada por la Ec. 5.2 para una tensión de 220 [V], se tiene:

$$I_b = \sqrt{(-0.0795)^2 + (-0.00006)^2}$$

$$I_b = 0.0795 \text{ [pu]}$$

$$I_b = 0.0795(262431.94)$$

$$I_{2\phi} = 20882.50 \text{ [A]}$$

Falla Bifásica a Tierra.

Sustituyendo en la Ec. 5.11, se tiene:



$$I_b = j\sqrt{3} \frac{(-0.5 + j0.866)(0.0088 + j10.8834) - (j10.2041)}{(0.0088 + j10.8834)((0.0088 + j10.8834) + 2(j10.2041))}$$
$$I_b = -0.0796 + j0.0479 \text{ [pu]}$$

Si se obtiene la magnitud de I_b y se multiplica por la corriente base (I_{Base}) calculada por la Ec. 5.2 para una tensión de 220 [V], se tiene:

$$I_b = \sqrt{(-0.0796)^2 + (0.0479)^2}$$

$$I_b = 0.0929 \text{ [pu]}$$

$$I_b = 0.0929(262431.94)$$

$$I_{2\phi-T} = 24373.11 \text{ [A]}$$

Para el Bus SG1-BUS 5:

Falla Monofásica.

Sustituyendo en la Ec. 5.8, se tiene:

$$I_a = \frac{3}{2(0.0347 + j20.8145) + j20.1207}$$

$$I_a = 0.0001 - j0.0486 \text{ [pu]}$$

Si se obtiene la magnitud de I_a y se multiplica por la corriente base (I_{Base}) calculada por la Ec. 5.2 para una tensión de 220 [V], se tiene:

$$I_a = \sqrt{0.0001^2 + (-0.0486)^2}$$

$$I_a = 0.0486 \text{ [pu]}$$

$$I_a = 0.0486(262431.94)$$

$$I_{1\phi} = 12749.78 \text{ [A]}$$



Falla Trifásica.

Sustituyendo en la Ec. 5.9, se tiene:

$$I_a = \frac{1}{0.0347 + j20.8145}$$

$$I_a = 0.0001 - j0.0480 \text{ [pu]}$$

Si se obtiene la magnitud de I_a y se multiplica por la corriente base (I_{Base}) calculada por la Ec. 5.2 para una tensión de 220 [V], se tiene:

$$I_a = \sqrt{0.0001^2 + (-0.0480)^2}$$

$$I_a = 0.0480 \text{ [pu]}$$

$$I_a = 0.0480(262431.94)$$

$$I_{3\phi} = 12608.11 \text{ [A]}$$

Falla Bifásica.

Sustituyendo en la Ec. 5.10, se tiene:

$$I_b = -j \frac{\sqrt{3}}{2(0.0347 + j20.8145)}$$

$$I_b = -0.0416 - j0.00006 \text{ [pu]}$$

Si se obtiene la magnitud de I_b y se multiplica por la corriente base (I_{Base}) calculada por la Ec. 5.2 para una tensión de 220 [V], se tiene:

$$I_b = \sqrt{(-0.0416)^2 + (-0.00006)^2}$$

$$I_b = 0.0416 \text{ [pu]}$$

$$I_b = 0.0416(262431.94)$$

$$I_{2\phi} = 10918.94 \text{ [A]}$$



Falla Bifásica a Tierra.

Sustituyendo en la Ec. 5.11, se tiene:

$$I_b = j\sqrt{3} \frac{(-0.5 + j0.866)(0.0347 + j20.8145) - (j20.1207)}{(0.0347 + j20.8145)((0.0347 + j20.8145) + 2(j20.1207))}$$
$$I_b = -0.0416 + j0.0245 \text{ [pu]}$$

Si se obtiene la magnitud de I_b y se multiplica por la corriente base (I_{Base}) calculada por la Ec. 5.2 para una tensión de 220 [V], se tiene:

$$I_b = \sqrt{(-0.0416)^2 + (0.0245)^2}$$

$$I_b = 0.0483 \text{ [pu]}$$

$$I_b = 0.0483(262431.94)$$

$$I_{2\phi-T} = 12674.16 \text{ [A]}$$

Debido a que el análisis de corto circuito para los escenarios faltantes sigue el mismo procedimiento de cálculo que se realizó para el Escenario 1, se omite el desarrollo de los cálculos. Sin embargo, en el Apéndice D se muestran las matrices de impedancias y los diagramas de secuencias positiva, negativa y cero que se utilizaron para el análisis de corto circuito en cada uno de los escenarios faltantes por medio del método de Z_{BUS} .

Como resumen, en las tablas siguientes se muestran los niveles de corto circuito para escenarios restantes (Ver Tablas No. 5.7, 5.8, 5.9 y 5.10).

En el Apéndice E se describe el procedimiento para llevar a cabo la simulación del corto circuito en EDSA.



CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE C.C. DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN EN CU (23 KV)

Bus	Corrientes de Corto Circuito [A]			
	Trifásica	Bifásica	Monofásica	Bifásica a Tierra
SG1-BUS 1	3694.99	3199.96	2412.04	3326.97
SG1-BUS 2	3613.56	3129.43	2358.21	3275.30
SG1-BUS 3	3587.48	3106.85	2340.50	3257.01
SG1-BUS 4	24113.04	20882.50	24625.38	24373.11
SG1-BUS 5	12608.11	10918.94	12749.78	12674.16

Tabla No. 5.7. Corrientes de corto circuito para el Escenario 1.

Bus	Corrientes de Corto Circuito [A]			
	Trifásica	Bifásica	Monofásica	Bifásica a Tierra
SG2-BUS 1	4410.02	3819.19	2964.75	3981.96
SG2-BUS 2	4375.47	3789.26	2932.49	3958.55
SG2-BUS 3	4315.20	3737.07	2890.67	3919.42
SG2-BUS 4	4280.88	3707.35	2866.48	3896.28
SG2-BUS 5	18755.86	16243.04	19013.68	18886.61
SG2-BUS 6	12681.36	10982.38	12799.62	12739.43
SG2-BUS 7	14921.06	12922.02	15087.26	14999.66
SG2-BUS 8	18733.98	16224.10	18998.70	18857.05

Tabla No. 5.8. Corrientes de corto circuito para el Escenario 2.



CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE C.C. DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN EN CU (23 kV)

Bus	Corrientes de Corto Circuito [A]			
	Trifásica	Bifásica	Monofásica	Bifásica a Tierra
SG1-BUS 1	3695.00	3199.96	2411.89	3326.90
SG1-BUS 2	3613.56	3129.43	2358.00	3275.14
SG1-BUS 4	24113.04	20882.50	24625.46	24373.22
SG1-BUS 5	12608.11	10918.94	12749.78	12749.78
SG2-BUS 1	3495.12	3026.86	2270.05	3188.81
SG2-BUS 2	3520.22	3048.60	2293.17	3208.52
SG2-BUS 3	3563.60	3086.17	2323.66	3239.95
SG2-BUS 4	3587.51	3106.88	2340.31	3256.98
SG2-BUS 5	18562.59	16075.66	18880.88	18698.96
SG2-BUS 6	12598.08	10910.26	12742.95	12660.64
SG2-BUS 7	14818.73	12833.39	15017.36	14908.04
SG2-BUS 8	18584.17	16094.35	18895.72	18728.07

Tabla No. 5.9. Corrientes de corto circuito para el Escenario 3.



Bus	Corrientes de Corto Circuito [A]			
	Trifásica	Bifásica	Monofásica	Bifásica a Tierra
SG2-BUS 1	4410.03	3819.19	2964.75	3982.06
SG2-BUS 2	4375.48	3789.27	2932.61	3958.74
SG2-BUS 3	4315.23	3737.10	2890.80	3919.56
SG2-BUS 4	4281.65	3708.02	2866.71	3897.06
SG2-BUS 5	18733.98	16224.10	18998.70	18886.65
SG2-BUS 6	12671.30	10973.66	12792.79	12739.45
SG2-BUS 7	14921.06	12922.02	15087.26	14999.68
SG2-BUS 8	18733.98	16224.10	18998.70	18857.09
SG1-BUS 1	4127.88	3574.84	2751.35	3792.95
SG1-BUS 2	4244.77	3676.08	2840.12	3871.78
SG1-BUS 4	24279.46	21026.62	24741.02	24474.55
SG1-BUS 5	12671.30	10973.66	12792.79	12725.84

Tabla No. 5.10. Corrientes de corto circuito para el Escenario 4.

Con los niveles de corto obtenidos en cada uno de los buses para los distintos escenarios se toman los valores máximos y mínimos. (Ver Tabla No. 5.11)



CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE C.C. DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN EN CU (23 kV)

Bus	Corrientes de Corto Circuito [A]							
	Trifásica		Bifásica		Monofásica		Bifásica a Tierra	
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
SG1-BUS 1	3692.92	4103.88	3198.39	3554.06	2410.20	2739.14	3325.17	3766.27
SG1-BUS 2	3605.34	4227.10	3122.54	3660.77	2351.31	2832.77	3263.76	3856.52
SG1-BUS 4	24124.10	24288.70	20892.10	21034.60	24636.30	24750.60	24417.40	24589.20
SG1-BUS 5	12601.10	12663.80	10912.90	10967.10	12742.40	12785.10	12685.10	12737.70
SG2-BUS 1	3476.82	4408.69	3011.21	3818.03	2260.71	2963.68	3169.22	3980.68
SG2-BUS 2	3503.24	4371.33	3034.10	3789.27	2279.68	2937.61	3189.06	3956.06
SG2-BUS 3	3549.16	4306.42	3073.87	3737.10	2312.24	2891.18	3223.03	3912.15
SG2-BUS 4	3576.17	4268.26	3097.27	3708.02	2331.14	2863.28	3242.72	3885.66
SG2-BUS 5	18563.80	18757.60	16076.80	16224.10	18882.10	19015.20	18768.10	18901.80
SG2-BUS 6	12590.80	12674.20	10904.00	10973.66	12735.40	12792.10	12681.70	12741.10
SG2-BUS 7	14824.80	14927.50	12838.70	12922.02	15023.50	15093.60	14947.00	15025.20
SG2-BUS 8	18585.70	18735.40	16095.80	16224.10	18897.20	19000.00	18775.40	18894.50

Tabla No. 5.11. Corrientes de corto circuito máximas y mínimas del Anillo B.